

Elżbieta Rojan

Zakład Geomorfologii, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych
Uniwersytet Warszawski
Warszawa

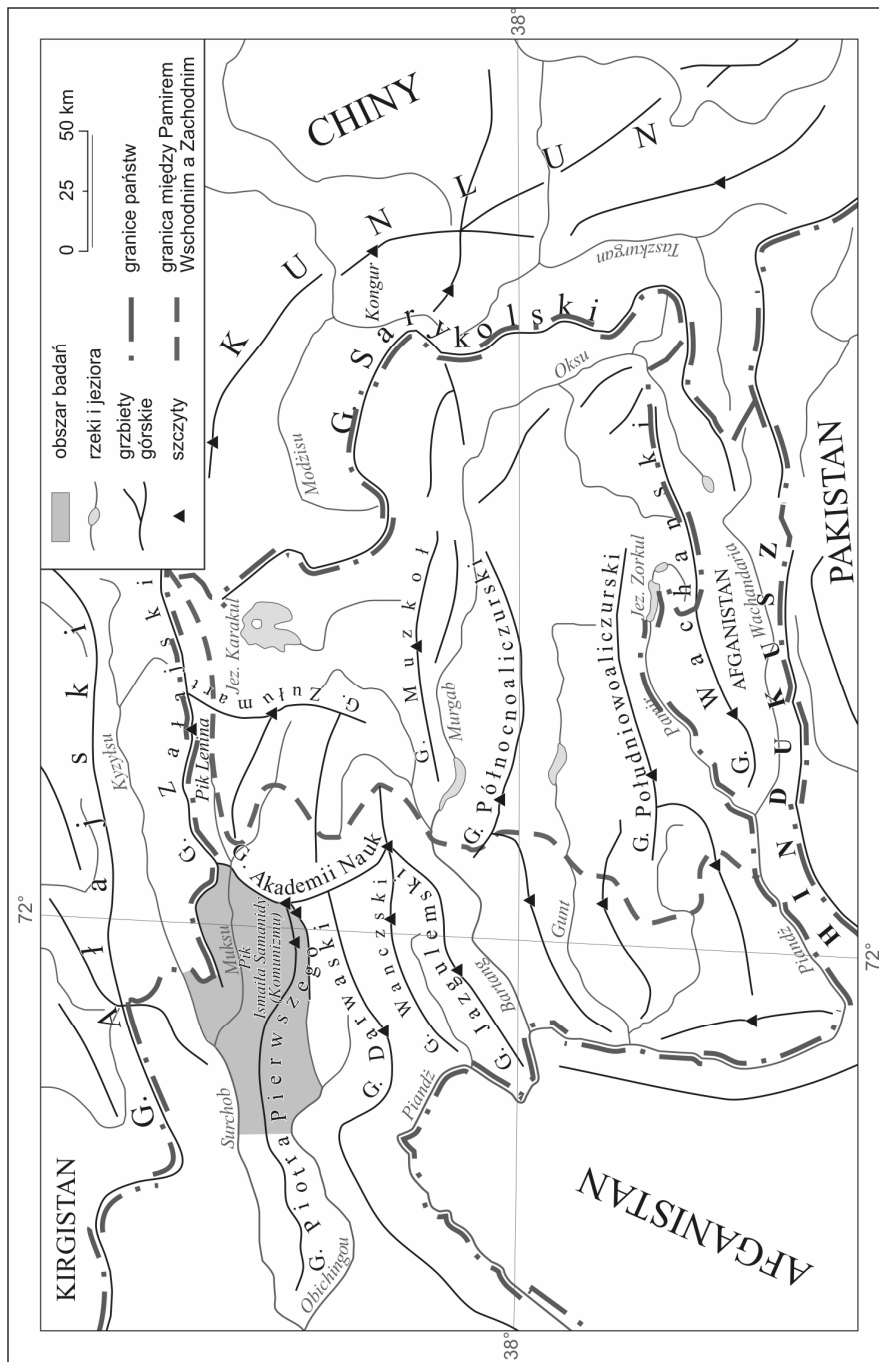
**MORFOTWÓRCZA ROLA LODOWCÓW
W PÓŁNOCNO-ZACHODNIEJ CZĘŚCI PAMIRU**
**THE MORPHOGENETIC ROLE OF GLACIERS
IN THE NORTH-WESTERN PAMIRS**

Zarys treści: Pamir należy do masywów Azji Środkowej, które były w przeszłości i są obecnie silnie zlodowacone. W niniejszym opracowaniu dokonano próby oceny morfotwórczej roli lodowców w północno-zachodniej części masywu. Na podstawie wyników badań terenowych stwierdzono bardzo duży zasięg poziomy i pionowy (1800-6800 m n.p.m.) procesów i form glacialnych. Największe ich zróżnicowanie pod względem wielkości i genezy rozpoznano w strefie 3300-5100 m n.p.m. Obok wietrzenia fizycznego i grawitacyjnych ruchów masowych system glacialny jest odpowiedzialny za charakter rzeźby badanego obszaru.

Słowa kluczowe: lodowce plejstoceny i holoceny, procesy i formy glacialne, Pamir
Key words: Pleistocene and Holocene glaciers, glacial processes and landforms, the Pamirs

Wstęp

Pamir jest jednym z masywów Azji Środkowej (zwanej też Centralną), sąsiadującym z Tien Szanem, Hindukuszem, Kunlunem i Ałajem. W przeważającej części leży w granicach Tadżykistanu. Składa się z dwóch głównych jednostek krajobrazowych: Pamiru Wschodniego i Zachodniego. Pamir Zachodni charakteryzuje się silnym rozczłonkowaniem powierzchni i deniwelacjami przekraczającymi 4000 m. W jego północno-zachodniej części usytuowany jest obszar badań, którego powierzchnia wynosi 2757 km². W jego granicach znalazły się fragmenty grzbietów: Zaałajskiego, Piotra Pierwszego i Akademii Nauk z siedmiotysięcznikami: Pik Ismaïła Samanidy (Komunizmu, 7495 m n.p.m.) i Korzeniewskiej (7105 m n.p.m.) oraz dolin rzek: Muksu, Kyzylsu, Surchob i Garmo (ryc. 1). Teren badań należy do najwyższych i najbardziej zlodowaconych w plejstocenie i współcześnie fragmentów masywu.



Ryc. 1. Szkic orograficzny Pamiru
 Fig. 1. Orographical outline of the Pamirs

Historia badań lodowców w Pamirze trwa około 140 lat. W 1871 r. A.P. Fedczenko poznał kilka pierwszych z nich. Siedem lat później W.F. Oszanin podczas podróży po dolinie Muksu odkrył wielki lodowiec i nazwał go imieniem Fedczenki. Dopiero w roku 1928 I.G. Dorofiejew dokonał pierwszych pomiarów tego największego górskiego lodowca świata (77 km). Pod koniec XIX i na początku XX w. wiedza o lodowcach Pamiru znacznie się poszerzyła. Podróżnicy i naukowcy, wśród nich: G.E. Grum-Grzymajło, W.W. Lipski, N.L. Korzeniewski, J.S. Edelsztejn, N.I. Kosjinenko, I.A. Preobrażenski, J.I. Beliajew, P.I. Besedin, odkryli i zbadali wiele lodowców położonych w obrębie grzbietu Piotra Pierwszego i Darwazskiego oraz dolin rzek Wancz, Jazgulem, Kudara i Tanymas (Saidmuradow 1982). W tym samym czasie prowadzono pierwsze obserwacje zmian czół lodowców. W późniejszym okresie badania prowadzili także uczestnicy wypraw z innych krajów, głównie z Niemiec i Austrii.

W II połowie ubiegłego stulecia i na początku obecnego zmianami wielkości pamińskiego zlodowacenia w plejstocenie i holocenie zajmowali się głównie: A.K. Trofimow (1968a, b), Ł.G. Bondariew (1976, Bondarev i in. 1997) L.N. Brun (2003) i W. Zech (Zech W. i in. 2003).

Rekonstrukcja czwartorzędowych zmian klimatu w Pamirze oraz określenie maksimum glacjacji w późnym plejstocenie na podstawie osadów stały się w ostatnich latach głównym celem prac prowadzonych przez naukowców z Niemiec. Najnowsze badania z zakresu geomorfologii dotyczą między innymi dokładnego określenia wieku plejstocenijskich moren za pomocą metody nuklidów pochodzenia kosmicznego ¹⁰Be. Duży udział mają w tym: R. Zech, W. Zech, U. Abramowski, B. Glaser, P.W. Kubik, P. Sosin, D. Seebach (Abramowski i in. 2003, Zech R. i in. 2003, 2005a, b).

Metody badań

Prace badawcze prowadzono podczas dwukrotnego pobytu w Pamirze (łącznie 7 tygodni w 2 kolejnych latach) na wysokości od 1500 m do 6100 m n.p.m. Jeszcze wyżej, w strefie 6100-7495 m n.p.m., przeprowadzono tylko obserwacje terenowe. Badania skupiały się przede wszystkim w rejonie szczytów: Ismaïła Samanidy i Korzeniewskiej oraz w dolinie rzeki Muksu.

Zastosowane w opracowaniu metody należą do dwóch głównych grup badań: terenowych i kameralnych. W trakcie badań terenowych rozpoznano zróżnicowanie poziome i pionowe czynników i procesów morfogenetycznych oraz form rzeźby. Określono cechy metryczne form glacialnych. Wykonano obserwacje i pomiary mikro- i mezofarm. Przeprowadzono także kartowanie geomorfologiczne południowo-wschodniej części obszaru badań. Analiza literatury oraz ubogich materiałów kartograficznych pozwoliła na uzupełnienie uzyskanych w terenie wyników.

Zlodowacenia plejstoceny i wspolczesne

Pamir nalezy do masywów Azji Środkowej, które były w przeszłości i są obecnie zlodowacone. Poglądy dotyczące liczby zlodowaceń plejstocenyjskich są rozbieżne z powodu zbyt małej ilości danych na ten temat. Autorzy badań i opracowań wskazują na dwa lub trzy takie okresy, nie określając czasu ich trwania. Starsze zlodowacenie, tupczańskie, o większym zasięgu, trwało w drugiej połowie dolnego czwartorzędu. Młodsze, liachszskie, miało miejsce w drugiej połowie środkowego czwartorzędu (Trofimow 1968a). Lodowce plejstocenyjskie osiągnęły w Pamirze znaczną wielkość, a co za tym idzie – obniżyła się dolna granica ich występowania i granica wiecznego śniegu. Rozmiary wymienionych zlodowaceń w porównaniu ze współczesnym przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Wielkość i zasięg zlodowaceń dawnych i współczesnego (wg Trofimowa 1968b)
Size and range of past and contemporary glaciations (Trofimow 1968b)

Obszar	Zlodowacenie tupczańskie (T)			Zlodowacenie liachszskie (L)			Zlodowacenie współczesne (W)		
	Pow. (km ²)	P _T /P _W	ΔH _T (m)	Pow. (km ²)	P _L /P _W	ΔH _L (m)	Pow. (km ²)	P _W /P _T (%)	P _W /P _L (%)
Pamir	27 670	3,5	---	21 060	2,8	380	7564	27,3	35,9
Pamir Zachodni	15 200	2,5	150 ?	14 300	2,3	450	6110	40,2	42,7
Pamir Wschodni	12 470	8,5	500	6760	4,5	300	1454	11,7	21,5

P_T – powierzchnia zlodowacenia tupczańskiego, P_L – powierzchnia zlodowacenia liachszskiego, P_W – powierzchnia zlodowacenia współczesnego, ΔH_T – różnica w przebiegu granicy wiecznego śniegu w okresie tupczańskim i współcześnie, ΔH_L – różnica w przebiegu granicy wiecznego śniegu w okresie liachszskim i współcześnie

P_T – surface of the Tupchan glaciation, P_L – surface of the Liahsh glaciation, P_W – surface of contemporary glaciation ΔH_T – difference between the perpetual snow boundary in the Tupchan period and the contemporary one, ΔH_L – difference between the perpetual snow boundary in the Liahsh period and the contemporary one

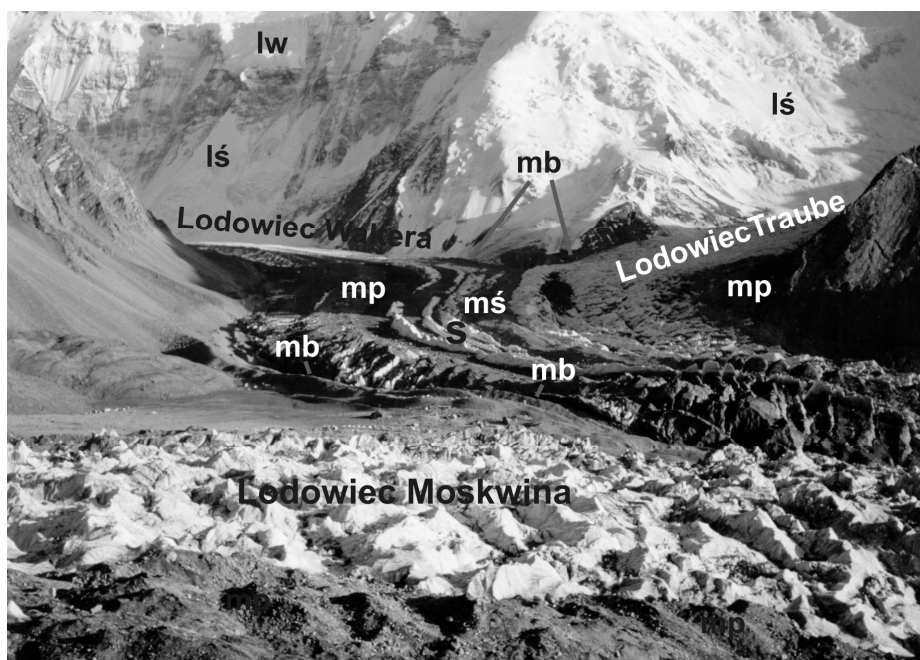
Zlodowacenie późnoplejstocenyjskie zakończyło się około 9500 lat temu (Bondarev i in. 1997). Powierzchnia zajmowana przez ówczesne lodowce pamirskie była zaledwie o 5-20% większa od obszaru współcześnie zlodowaconego (za: Bondarev 1976). Długość lodowców od późnego plejstocenu również zmieniła się stosunkowo niewiele: średnio o 1-1,5 km, maksymalnie 3-4 km. Granica wiecznego śniegu na obszarze badań przebiegała o 650-950 m niżej niż obecnie (Bondarev i in. 1997).

Powierzchnia współczesnych lodowców pamirskich wynosi około 8000 km². Wartości spotykane w literaturze różnią się o prawie 1000 km² (7493 km² – Dołguşzin, Osipowa 1989; 7564 km² – Trofimow 1968b; 8041 km² – *Wielka...* 1966; 8400 km² – *Bolşaja...* 1975, *Encyklopedia...* 1995). Obszar obecnie zlodowacony stanowi około 10-13% całkowitej powierzchni masywu. W Pamirze Zachodnim lodowce pokrywają około 26% jego powierzchni, zaś w rejonie szczytu Ismoili Somoni aż 53% terenu.

Procesy i formy glacialne

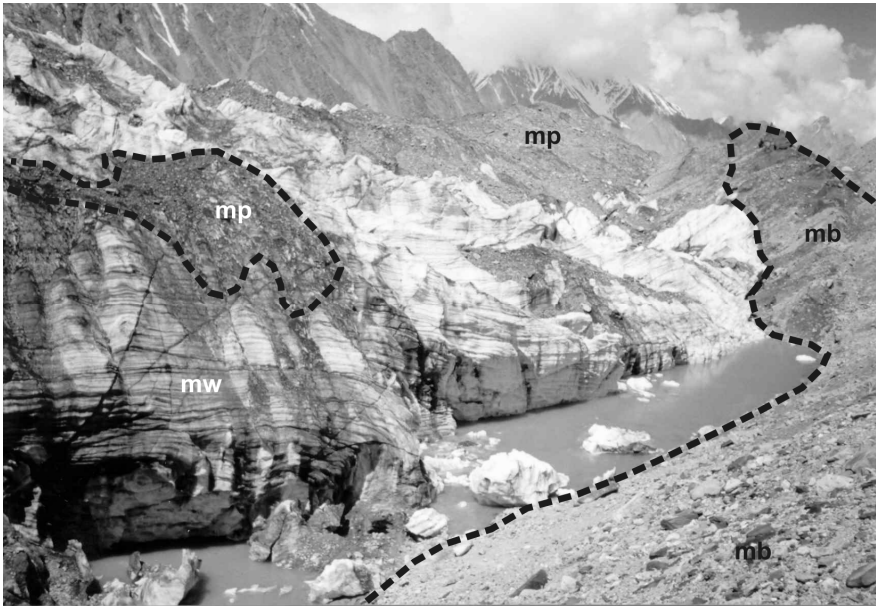
W plejstocenie i w holocenie na obszarze badań zachodziły i zachodzą procesy glacialne. Formy będące skutkiem ich działania rozpoznano w prawie całym profilu wysokościowym. Są to zarówno formy erozyjne, jak i akumulacyjne, którym w niniejszym opracowaniu poświęcono główną uwagę.

Transportowany przez lodowce materiał skalny odkładany jest na omawianym terenie w postaci prawie wszystkich rodzajów moren (ryc. 2, 3, 4 i 5).



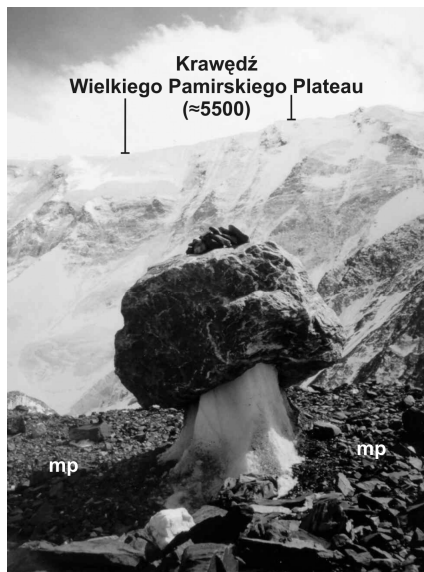
Ryc. 2. Jęzory lodowców: Moskwinia (na pierwszym planie), Traube i Waltera z morenami różnego typu (mb – morena boczna, mp – morena powierzchniowa, mś – morena środkowa) oraz lodowce ścianowe (lś), lodowce wiszące (lw), seraki (s)

Fig. 2. Glacier tongues: Moskwinia (foreground), Traube and Walter (Valter) glaciers with moraines of various types (mb – lateral, mp – surface, mś – medial) and apron glaciers (lś), hanging glaciers (lw), seracs (s)



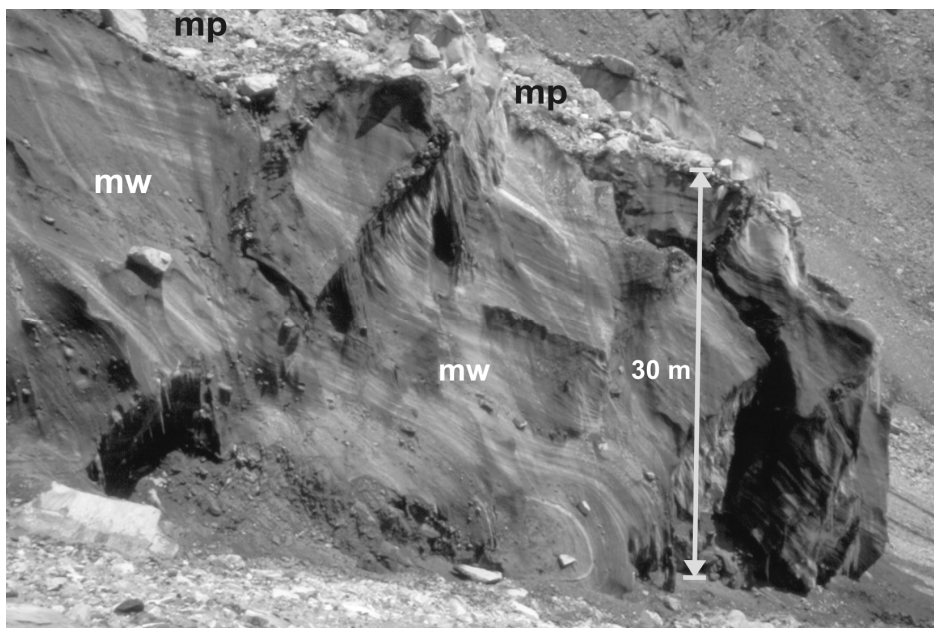
Ryc. 3. Wał moreny bocznej (mb), morena powierzchniowa (mp) i morena wewnętrzna (mw) lodowca Waltera w rejonie Polany Moskwinia (wys. 4300 m n.p.m.)

Fig. 3. Lateral moraine belt (mb), surface moraine (mp) and internal moraine (mw) of Walter Glacier, Moskvinia Glade region (4300 m a.s.l.)



Ryc. 4. Warstwa moreny powierzchniowej (mp) do 30 cm miąższości i grzyb (stół) lodowcowy na lodowcu Waltera

Fig. 4. Layer of surface moraine (mp) up to 30 cm thick and glacier boulder (table) on Walter Glacier



Ryc. 5. Strefa czołowa (bok) lodowca Cetlina ze znaczną zawartością moreny wewnętrznej (mw) i moreną powierzchniową (mp), wys. 4650 m n.p.m.

Fig. 5. Frontal zone (side) of Cetlin Glacier with a significant share of internal moraine (mw) and surface moraine (mp), 4650 m a.s.l.

Moreny boczne ciągną się wzdłuż jeziorów lodowców dolinnych, takich jak: Fortambek, Traube, Moskwinia, Waltera (ryc. 2, 3). Jedną z większych form tego rodzaju, o wysokości około 14 m, powstała po północno-wschodniej stronie lodowca Waltera na wysokości Polany Moskwinia (ryc. 3). Inne wyraźne odcinki wałów moren bocznych ciągną się wzdłuż lewej (orograficznie) krawędzi jeziora lodowca Waltera i po południowej stronie lodowca Moskwinia.

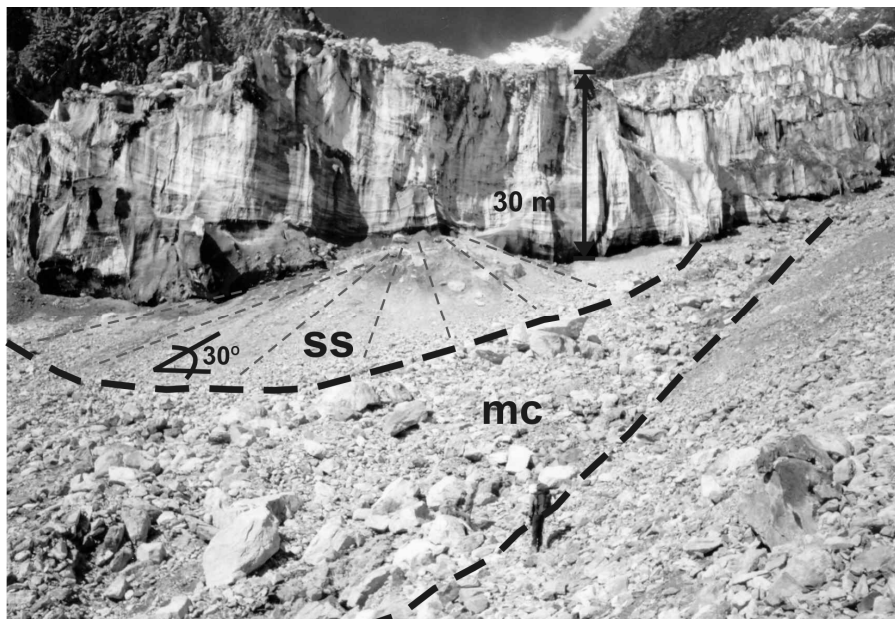
Na obszarze badań występują także moreny środkowe. Bardzo wyraźny wał tego typu powstał w wyniku połączenia dwóch moren bocznych lodowców: Traube i Waltera (ryc. 2).

Stosunkowo duże fragmenty większości lodowców Pamiru Zachodniego, w tym obszaru badań, m.in.: Waltera, Fortambek, Muszkietowa, pokryte są warstwą moreny powierzchniowej o miąższości nawet do 60 cm (ryc. 2, 3, 4, 5). Pojawia się ona na wysokości około 5200 m n.p.m. i pokrywa jeziora lodowców na całej długości. Morena powierzchniowa jest ważnym wskaźnikiem aktywności znajdujących się powyżej niej stoków. W rejonie szczytu Ismoili Somoni fragmenty lodowców pokryte tego typu moreną stanowią 14% powierzchni zlodowaczonej. Końcowa część lodowca Fedzenki ze zwartą pokrywą moreny powierzchniowej osiąga aż 16 km długości.

Kolejnym przejawem akumulacyjnej działalności lodowców jest morena wewnętrzna. Materiał skalny dostający się do lodu pochodzi z dwóch głównych źródeł:

- ze stoków, często z masami śnieżnymi, powyżej granicy wiecznego śniegu, transportowany w górnych partiach lodu,
- z podłoża, po którym przesuwa się lodowiec, transportowany w dolnej jego części.

Wydaje się, że na obszarze badań dominuje morena wewnętrzna zakumulowana w górnych partiach lodu. Widoczna jest ona zarówno wzdłuż boków i czoł jeziorów lodowców, jak też w ich środkowych częściach w miejscach występowania szczelin (ryc. 3, 5, 6).



Ryc. 6. Czoło lodowca Cetlina (4650 m n.p.m.) i utworzone przed nim formy akumulacyjne: mc – morena czołowa i ss – stożek sandrowy

Fig. 6. Ice wall of Cetlin Glacier (4650 m a.s.l.) and accumulation landforms in front of it: mc – terminal moraine and ss – outwash fan

Większość z moren wewnętrznych lodowców północno-zachodniej części Pamiru charakteryzuje się warstwowaniem. Świadczy to o następujących po sobie okresach akumulacji śniegu i materiału skalnego na powierzchni lodowców.

Moreny czołowe na obszarze badań zachowały się jedynie w postaci fragmentarycznej w dolinie rzeki Fortambek. Przed czołem lodowca Cetlina, na wysokości około 4650 m n.p.m., akumulowany jest materiał skalny, który w opracowaniu został nazwany moreną czołową (ryc. 6). Z powodu dużego nachylenia terenu (około 25°), po którym spływa lodowiec Cetlina, nie istnieją dogodne warunki do powstawania typowych wałów czołowomorenowych (Szulc-Rojan 1995). Spadający z powierzchni lodowca różnej wielkości materiał skalny gromadzi się poniżej jego czoła, tworząc wyraźną półkolistą strefę. Jest to więc osad moreny czołowej. Nie tworzy

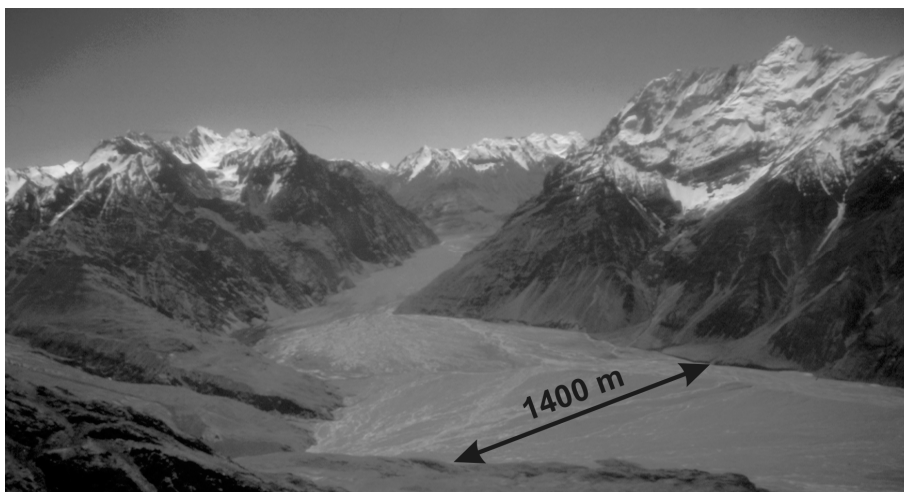
on jednak wyraźnej formy wypukłej. W miejscu jego występowania następuje jedynie zmniejszenie kąta nachylenia powierzchni.

O bardzo szybkim tempie płynięcia lodowca Cetlina świadczyć może częstotliwość spadania z jego powierzchni bloków i okruchów skalnych. W okresach badawczych, w pogodne dni lipca i sierpnia proces ten zachodził co 3-4 sekundy.

U wylotu bramy lodowcowej wyżej wymienionego lodowca powstał stożek sandrowy szerokości około 80 m i o średnim nachyleniu 30° (ryc. 6). Zakumulowany materiał fluwioglacjalny całkowicie zasłonił bramę lodowcową, uniemożliwiając wypływanie wód subglacjalnych. Powierzchnia stożka ulega dalszemu przekształcaniu w wyniku spadania materiału skalnego z lodowca Cetlina.

Na obszarze badań, ze względu na charakterystyczny dla współczesnych lodowców typ deglacji aeralnej, nie występują odpowiednie warunki do odsłaniania się moreny dennej. Ponadto stosunkowo niewielkie zmniejszenie się zasięgu lodowców od końca plejstocenu, o czym była mowa wcześniej, nie pozwoliło na powstawanie dużych powierzchni moreny dennej. Można też przypuszczać, że zakumulowane osady tej formy zostały wyprątnięte w wyniku działania procesów erozyjnych lub przykryte osadami fluwioglacjalnymi.

Skutki erozyjnej roli lodowców w północno-zachodniej części Pamiru dają się zauważyć w postaci U-kształtnych dolin. Jak już wspomniano, lodowce plejstocenyjskie podczas maksimum rozwoju były ok. 2,5 razy dłuższe niż współcześnie. Znaczne fragmenty dolin rzecznych musiały więc ulec przekształceniu w żłoby lodowcowe. Do takich należą części dolin: Muksu, Garmo i Fortambek (ryc. 7). Ich płaskie dna wyścielone są osadami fluwioglacjalnymi akumulowanymi przez wody rzek proglacjalnych. Największym żłobem lodowcowym obszaru badań jest wschodni odcinek obecnej doliny rzeki Muksu, którym w plejstocenie płynął lodowiec Fedczenki (ryc. 7).



Ryc. 7. U-kształtny odcinek doliny rzeki Muksu, około 22 km od współczesnego czoła lodowca Fedczenki

Fig. 7. U-shaped section of the Muksu valley, approx. 22 km from the contemporary ice wall of Fedchenko Glacier

Do form powstałych w wyniku erozyjnej roli lodowców górskich zaliczane są także cyrki lodowcowe. Ich fragmenty odsłaniają się na południowych stokach Grzbietu Zaalajskiego, w strefie 4600-5100 m n.p.m. Znaczna część form erozyjnych obszaru badań, a zwłaszcza mikroform, nie została rozpoznana podczas prac terenowych ze względu na znaczne rozmiary współczesnego zlodowacenia. Znajdują się one nadal pod powierzchnią lodu.

Podsumowanie

Plejstocenijskie i współczesne lodowce pamiirskie odegrały i nadal odgrywają ważną rolę w kształtowaniu powierzchni obszaru badań. Zasięg poziomy i pionowy (1800-6800 m n.p.m) procesów i form glacialnych jest tu bardzo duży. Największe ich zróżnicowanie pod względem rozmiarów i sposobów powstawania rozpoznano w strefie 3300-5100 m n.p.m. Obok wietrzenia fizycznego i grawitacyjnych ruchów masowych system glacialny jest odpowiedzialny za charakter rzeźby badanego obszaru.

Literatura

- Abramowski U., Serbach D., Zech R., Glaser B., Zech W., Kubik P.W., 2003, *In-situ cosmogenic ^{10}Be exposure ages of moraine boulders used to date glacier advances in Tajikistan and Nepal*, www.ipp.phys.ethz.ch/research/experiments/tandem/Annual/2003/17
- Bolšaja Sovetskaja Enciklopedia*, 1975, t. 19, Moskwa
- Bondarev L.G., Gobedzhishvili R.G., Solomina O.N., 1997, *Fluctuations of local glaciers in the southern ranges of the former USSR: 18 000-8000 BP*, *Quaternary International*, 38/39, s. 103-108
- Bondariew L.G., 1976, *Vlijanie tektoniki na evoluciju lednikov i formirovanie glacialnogo reliefa*, Frunze
- Brun L.N., 2003, *Glaciers in Pamir seen from different perspectives*. W: *Alpine Glaciological meeting, 13-14.03.2003, Materiały konferencyjne*, Grenoble, s. 5
- Dołguszyn L.D., Osipowa G.B., 1989, *Priroda mira. Ledniki*, Moskwa, s. 447
- Encyklopedia geografii świata. Azja*, 1995, Warszawa
- Saidmuradow X.M., 1982, *Vvedenie. Kratkaja istorija issledovanij*. W: *Tadžykistan (priroda i prirodnye resursy)*, Duszanbe, s. 6-24
- Szulc-Rojan E., 1995, *Współczesne lodowce Pamiru*, *Czasopismo Geograficzne*, LXVI, 3-4, s. 303-315
- Trofimow A.K., 1968a, *O režime lednikov Pamira w golocene*, *Izvestija Vsesojuznogo Geografičeskogo Obščestva*, 2, s. 118-124
- Trofimow A.K., 1968b, *Sovremennoe oledenienie*. W: *Atlas Tadžikskoj SSR*, Duszanbe-Moskwa, s. 29
- Wielka encyklopedia powszechna*, 1966, t. 8, Warszawa, s. 839
- Zech R., Glaser B., Sosin P., Kubik P.W., Zech W., 2005a, *Evidence for long-lasting landform surface instability on hummocky moraines in the Pamir Mountains (Tajikistan) from ^{10}Be surface exposure dating*, *Earth and Planetary Science Letters*, 237, 3-4, s. 453-461
- Zech R., Abramowski U., Glaser B., Sosin P., Kubik P.W., Zech W., 2005b, *Late Quaternary glacial and climate history of the Pamir Mountains derived from cosmogenic ^{10}Be exposure ages*, *Quaternary Research*, 64, 2, s. 212-220

Zech R., Abramowski U., Glaser B., Zech W., Sosin P., Kubik P.W., 2003, *Potentials and limitations of surface exposure dating using "in-situ" cosmogenic ¹⁰Be*. W: *Environmental Change in Central Asia, International Symposium, 10-15.03.2003*, Berlin, s. 134-135

Zech W., Glaser B., Abramowski U., Zech R., Petrov M., Finaev A., Sosin P., 2003, *Quaternary landscape evolution in the Tian Shan and Pamir*. W: *Environmental Change in Central Asia, International Symposium, 10-15.03.2003*, Berlin, s. 135-136

Summary

The Pamir is one of the Central Asian mountain ranges characterized by a high degree of glaciation, both in the past and the present. The paper offers an evaluation of the morphogenetic role of glaciers in the north-western part of the range. Field research has revealed that glacial processes and landforms have a significant reach, both vertically and horizontally (1800-6800 m a.s.l.), with the greatest diversity in terms of size and genesis observable in the zone between 3300 and 5100 metres a.s.l. In addition to physical weathering and mass movement, the glacial system is responsible for the character of the relief of the researched area.